

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫 期中進度報告

## 子計畫四：提昇私校研發能量專案計畫-智慧型無線導盲預 警監控系統(1/3)

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC93-2745-E-032-005-URD

執行期間：93 年 08 月 01 日至 94 年 07 月 31 日

執行單位：淡江大學資訊工程學系

計畫主持人：葛煥昭

共同主持人：張志勇，施國琛，石貴平

報告類型：精簡報告

報告附件：出席國際會議研究心得報告及發表論文

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 94 年 6 月 1 日

# 無線光通訊之智慧型盲人預警監控及導引網路系統—子計畫(四)

## 智慧型無線導盲預警監控系統(I)

### Subproject 4 - A Smart Guiding, Pre-Warning, and Monitoring Wireless Network System for the Blind (I)

計畫 編號：NSC 93-2745-E-032-005-URD

執行 期限：93/08/01 ~ 94/07/31

主 持 人：葛煥昭 淡江大學資訊工程系教授

E-mail: keh@cs.tku.edu.tw

Fax: 02-26209749

共同主持人：施國琛 淡江大學資訊工程系教授

E-mail: tshih@cs.tku.edu.tw

張志勇 淡江大學資訊工程系副教授

E-mail: cychang@cs.tku.edu.tw

石貴平 淡江大學資訊工程系助理教授

E-mail: kpshih@mail.tku.edu.tw

#### 一、中文摘要

本計畫為「無線光通訊之智慧型盲人預警監控及導引網路系統」之三年期整合型計畫中的子計畫。本子計畫將著重於預警監控系統的設計與製作，並且設計預警監控系統所使用的定點定位系統，使預警監控系統可以搭配定位定點系統，以及繞境與群撥協定，對校園中的盲生行進路線，做出進一步的預警與監控。第一年計畫的工作目標即在於建構出兼具導引、預警、修復、偵測等多功能特性之理想 WSN，並初使化之。

在今天的成果方面，在理論部份，我們提出了建構盲人無線感測網路的技術，我們分析了機器人構建網路的缺點與問題，必且設法解決當機器人在未知且有障礙物的情況下，使用最少的 Sensor node 以達到避開障礙物起 Full coverage 的目的；此外我們也對以人工的方式構建盲人感測網路做進一步的研究，我們分析了感測器服務與傳輸範圍的相關性，並且分析了感測器如何透過自身移動來達成完整覆蓋服務範圍，使得感測器可以更貼近淡江大學校園的環境與我們所需要的應用。在實做部分，我們除了在現有的 sensor node 上撰寫感測及無線通訊模組，亦進行無線廣播及點對點無線傳輸的實作。此外，我們也針對淡江大學校園來進行導盲系統的實作，除了針對淡江大學校園各建築物及路線進行實際量測外，亦研發及撰寫路徑行走之程式，這些實作使盲生在校園內的活動可以透過 GUI 方式顯示並為其導引。

**關鍵詞：**感測節點，盲人預警監控系統，無線感測網路，構建，初始化

#### 英文摘要

This report proposes a subproject of a three-year integrated project. The main goal of the integrated project is to develop a wireless optical

communication network and to guarantee the safety and the convenience for the blind. The integrated project will also implement the hardware, the firmware, the decision algorithm, and the application programs of sensor nodes which will be applied to the smart guiding wireless network system for the blind.

This subproject aims at the design and implementation of alert, guiding, monitoring, and tracking systems to construct an obstacle-free environment for the blind. In the first year, we developed the obstacle-free robot deployment protocol so that the robot can use minimal number of sensor nodes to achieve the full-coverage purpose. We also investigated the mobile sensor deployment protocol. Consequently, we obtain some essential theoretical results. In addition, we designed and implemented several communication protocols and program the sensing functions in MICA2 sensor nodes. We also implemented the guiding system that allows the blind students to be tracked and guided in the campus of Tamkang University.

**Keywords:** GUI pre-warning system, wireless network system for the blind, deployment, initialization

#### 二、計畫緣由與目的

近年來，由於硬體技術及無線科技的進步，使得體積小、低成本、多功能、省電、且具無線與感測能力的感測點(Sensor Node)得以實現，這亦使 Wireless Sensor Networks 廣泛使用在許多不同的領域，如：自然災害回報、軍事偵測與監控、位置追蹤、環境採樣、健康監控、自然生態監控、醫學上的人體機能探測、路況監控、導航、工作場所危險監控、安全控管等多個領域。

淡江大學的盲人系統已建立多年，不論是盲人用電腦、導盲磚的建置、導盲犬的使用等方面均有良好的經驗。隨著科技的進步，為提供盲人更安全、即時、多樣化的服務，本計畫擬運用先前已有的經驗，融入 Wireless 及 Sensor 的科技，為

盲人建置一兼具導引(Guide)、預警(Alarm)、修復(Recovery)、偵測(Detection)等多功能之智慧型無線導盲監控網路系統(GUARD system)。

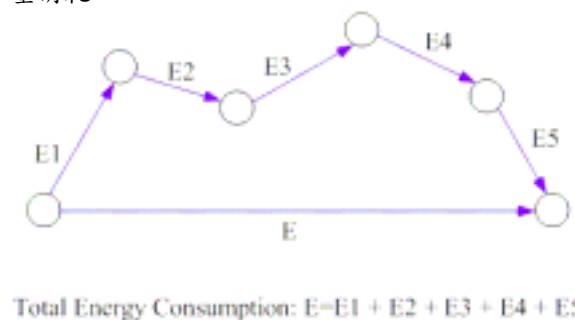
本子計畫將以淡江大學之淡水校園為場景，為盲人同胞建構一 Wireless Sensor Network。既然是為服務盲人同胞所提出，因此本子計畫在建構 WSN 的同時，必須以電量的消耗多寡作為前提，如此建構的 WSN 才能長時間的服務於盲人同胞。所以本子計畫欲設計出較長 Lifetime 之 WSN。此外本計畫希冀提供盲人同胞精確的位置資訊，讓盲人同胞行走於校園的同時，能隨時知曉其目前所在位址，增加盲人同胞自身的安全感。因此本子計畫需將所建構之 WSN 作初始化，以得知 WSN 中每個 Sensor Node 位置資訊。除此之外第一年子計畫所得到的 Sensor Node 位置資訊並可提供第二及第三年子計畫參考使用。智慧型無線導盲、預警、監控系統製作將以利提供盲人同胞預警、導引、安全監控、即時廣播服務等多項服務。

總結上述，本子計畫第一年的工作目標即在於建構出兼具導引、預警、修復、偵測等多功能特性之理想 WSN，並初始化之。且設計完善的智慧型無線導盲、預警、監控系統以便於服務盲人同胞。

## 2.1 盲人無線感測網路的建構

在第一年的計畫中，我們的重點放在盲人無線感測網路的建構、盲人無線感測網路的初始化、智慧型無線導盲預警監控系統的製作與系統實作與整合上。在盲人無線感測網路的建構上，目前的無線感測網路可以分為以人工的方式來進行隨機式的網路建構，也可以以機器人的方式來進行漸進式網路的建構。一般在無基礎建設的 WSN 中，網路環境的建構多半是透過事先的計算建構位置所完成的，隨後 Sensor Node 便獨立自主的進行網路拓撲的建構。而隨著感測任務類型的不同，每一個 WSN 網路所需要考慮的因素也不同。Andrew Howard [1] 等人的目標，希望所有的 Sensor Node 可以達到最大的 Coverage 範圍，並且假設 Sensor Node 具有移動的能力，因此 Sensor Node 可以移動到沒有被感測的範圍，擴大整個 WSN 的感測範圍。而 Li Li 等人[2]，則是透過數學證明每一個 Sensor Node 只要在周圍的 360 度中，任意 150 度內都有至少一個 Sensor Node 存在，就可以確保整個網路的連結性(connectivity)，因此每一個 Sensor Node 不需要使用最高傳輸電量，只要使用剛好滿足 150 度內至少都有一個鄰居的電量即可。因此[2]除了確保 WSN 的連結性，並且適當的降低 Sensor Node 的傳輸電量，延長 WSN 的使用時間。Mondinelli, F 等人[3]，則是提出利用 Sink 先對每個 Sensor Node 定位，找出整個 WSN 的網路拓撲，接著再利用計算電量的方法求得對每個 Sensor Node 最佳的資料傳送路徑。如圖一所示。Errol L. Lloyd 等人[4]，

透過計算每個節點的發射功率，以使網路總電源消耗量最小化。Himanshu Gupta 等人[5]，則是解決了對 WSN 中的某個區域提出感測要求的問題；透過一個集中式的演算法，使得被提出感測要求的區域求得一個 Sensor Node 中最佳的子集合，此子集合使得區域中可以有較少的 Sensor Node 去處理這個感測要求，避免其餘不必要的 Sensor Node 重複處理感測任務，增加不必要的電量消耗。



圖一. 計算 Sensor Node 直接傳送資料給 Sink，與經過其他 Sensor Node 幫忙轉送資料的電量消耗差異。



圖二. 如何找出 Sensor Node 中最好的 Sink 放置位置。

此外目前國內外目前有相當多的研究著重在無規則、階層式的 WSN，目前此類型的研主要是想要解決如何在 WSN 中建構 Cluster、如何在 Cluster 中選擇 Cluster head、如何提升此類型 WSN 的 Lifetime，以及如何放置 Sink 等問題。Gaurav Gupta 等人[6]，提出如何控制 WSN 的拓撲的做法；在階層式網路拓撲的 WSN 中，因為當作 Cluster head 的 Sensor Node，必須負擔管理與轉送資料的工作，被選為 Cluster head 的 Sensor Node 也會較容易耗盡電量，因此要在階層式的 WSN 中，提出一個平衡各個 Cluster 中成員個數的方法，來平衡 Cluster 內的 Sensor Node 個數，盡可能的讓各個 Cluster Head 有比較接近的 Lifetime；但是[6]仍然有只決定 Cluster 的成員，並不考慮 cluster head 的選擇問題。因此 cluster head 可能會耗電過多，此部分需要留待其他方法解決此問題。而 Wendi Rabiner Heinzelman et.al 等人[7]，則是提出一個演算法，讓每一個 Sensor Node 都有機會當作 Cluster head，假設時間分成數個 Round，每個 Round 分成兩個 Phases，在第一個 Phase 中從所有的 Sensor Node 中選出 Cluster head，第二個

Phase 則是每個 Sensor Node 依據 TDMA 的方式傳送資料給 Cluster head; 採用 TDMA 除了可以避免資料封包碰撞, 並且可以兼具省電的功能, 但是 [7] 假設每個 Sensor Node 都可以直接傳輸資料到 Sink, 因此並不適用大範圍, 需要轉送資料的感測任務, 此外, Cluster Head 可能不只選出一個, 剩餘電量較少的 Sensor Node 也可能被選擇當作 Cluster head, 因此並沒有達到平均每個 Sensor Node 耗電量的需求。

Jianping Pan 等人 [8], 則是提出在已建構好 Sensor Node 的情形下, 如圖二決定 Sink 位置的方法, 以達到整體電量消耗最小, [8] 考慮了 Sensor Node 可以經由其他 Sensor Node 代傳資料、與 Sensor Node 不可以經由其他 Sensor Node 代傳資料等兩種情形, 因此 [8] 希望能透過適當選擇 Sink 的位置, 使 Sink 與 Sensor Node 的路徑較短以拉長整個 WSN 的 Lifetime。

在機器人建構 WSN 部分, 由 Maxim A. Batalin and Gaurav S. Sukhatme 論文中 [9], 其主要探討如何利用機器人來 explore 一個未知環境的 Dynamic Coverage Problem, 作者提出一種具有 simple computation 與 communication 功能的設備, 稱之為 Maker, 其功能與 Sensor 相似, 並設計一 Algorithm 利用機器人在一未知範圍的環境中, 佈下 Makers 來感測此區域環境; 在此論文中, 每個 Maker 對於南西北東四個方向都各紀錄 'state' 與 'counter' 兩個值, 並且根據機器人其目前所處位置的通訊情況, 提供機器人一個較好的 exploration 方向以放置 Sensor Nodes。

## 2.2 盲人無線網路初始化

在網路管理與維護的階段, 定址 (Addressing) 與地理資訊探知 (Geographical Information Discovery) 為網路初始化的兩個重要研究議題。以下將分別探討這兩研究議題的相關論文研究。

第一個議題為定址方式 (Addressing)。一般在無基礎建設的無線感測網路中, 網路環境的建構多半是自主性以分散式的方式完成的。因此, 若要讓網路上的每個主機都擁有一個唯一的識別號 (Identifier), 就必須以分散式的方式運作。關於網路初始化時的定址方式, 迄今的相關研究大多數是採用固定位置長度的格式。Nakano 等人的研究 [10] 是運作在隨建即連的網路環境, 並針對主機數目事先已知與未知兩種狀況設計不同的演算法進行定址。Micic 等人進一步提出 2-partition-1 演算法改善上述演算法的缺點 [11], 主要的差別是增加了判斷的觀念, 若分割後的小群組沒有任何主機便會進行調整。

歸納上述的研究後我們發現 Nakano 等人的研究中每個主機可以同時傳送及監聽頻道的假設是不實際 [10], 而從 IEEE 802.11 標準與一些相關研究中得知頻道偵測機制已被廣泛地應用於無線通訊的環境, 因此 Cai 等人提出一種利用頻道偵測機制的演算法來提升網路初始化的效率 [12]。

另一種定址方式是以集中式的觀點為主, 通常是從所有節點中選出一個網路的管理者負責網路的管理, 統一管理與協調網路中的所有成員 [10][13][14][15][16][17], 其中 [15] 中提出了如何在 WLAN 環境中選出一個稱為 Leader 的網路管理者。當傳送發生碰撞時, Leader 會通知發送端, 藉此提高資料傳送的可靠性, 而在 [16] 的論文中, Leader 負責給予每個成員一個唯一的識別號, 每個成員依照它們獲得的識別號依序傳送封包。

關於以動態方式調整 Sensor Node 位址長度的相關文獻, Kulkarni 和 Schurgers 等人曾在其研究中提到, 欲在 Sensor Networks 中傳送資料, 應盡量減少電量的消耗, 因此發展出的協定即以此為目標 [18][19]。他們主要是利用 Short Link Label 取代一般常用的唯一位址 (Unique MAC Address) 以減少封包的大小, 此外, Link Label 的配置採用 On-demand 的方式, 主要目的係減少封包標頭的 Overhead, 並可達到空間再利用 (Spatial Reuse) 的優點。

第二個議題為地理資訊探知 (Geographical Discovery) 目前在無線及無線偵測網路提出了很多的定位技術, 例如: 屬於集中式的定位方式 [20], 此方式是透過一個擔任伺服器角色去收集整個網路的訊息並且做全觀性的計算以降低定位的誤差; 而區域性的定位系統方面 [21] 則以一些參考點作為計算的輔助點, 另外也有以超音波偵測方式求得實際距離的定位系統 [22]。此外, 亦有研究提出一個應用於隨建即連網路 (Ad Hoc Networks) 的分散式定位系統 [23], 但是該系統必須透過大量的交換訊息才能完成節點的定位。

由於 RSSI 技術受到環境的影響較大, 而且 ToA 與 TDoA 定位技術需要額外的硬體設備, 因此 Nasipuri 等人 [24] 提出一種以方位為主的定位方式, 主要的概念係根據三個已知位置的節點所發出的訊號方位便可計算出自己的位置。

Iyengar 等人提出的演算法是以 cluster 為基礎, 該系統包含區域性定位與全域性定位兩個步驟 [25]。基本上, 此機制為分散式的架構, 其概念類似 Cluster-based 的方法, 即網路中的 Master Node 可視為一般 Cluster 中的 Header。相較於 Non-cluster 的架構, 不論網路密度為何, 本文提出的方法不但可以完成定位, 還能有效減少通訊的 Overhead 及定位所耗費的時間。

一般而言, 利用距離和角度的量測方式統稱為 Range-based 定位方法, 儘管量測到的誤差可以透過各種方式修正, 但此類方法所需的硬體成本亦相對地提高, 因而不太適用於實際的網路環境。基於此, He 等人 [26] 提出一個以區域為基礎的演算法 (Area-based Range-free), 稱為 APIT。此演算法是運作在異質性的網路環境 (Heterogeneous Network), 其中一些名為 Anchor 的節點具有較大的電量可傳送較遠的距離, 並可透過 GPS 定位出自己的位置。

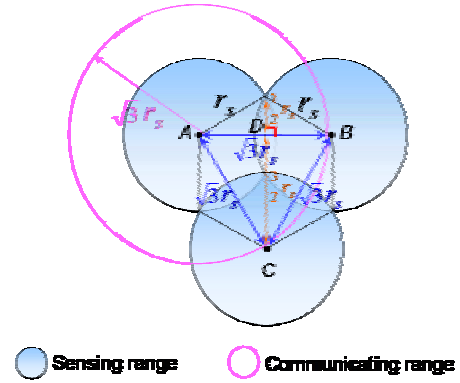
由以上的結果我們可以得知, 隨著建構的複雜

度提升，想要建構與再建構一個理想的 WSN 的難度也就隨之增加，至於管理與維護上就更加的困難。雖然目前已有許多的相關研究，但並無探討專為盲人需求所設計與建構的 WSN，且 WSN 建構仍存在許多待解決的問題，因此在第一年的計畫中，我們希望能對 WSN 做更一進步的探討與研究，期望能進一步解決 WSN 在理論與應用於盲人同胞上的種種問題。

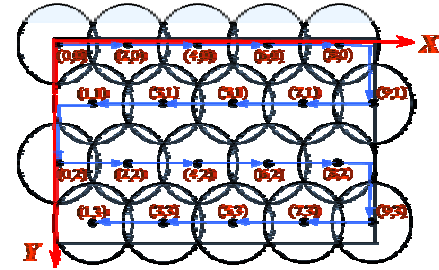
### 三、 研究方法及成果

#### 3.1 理論研究成果

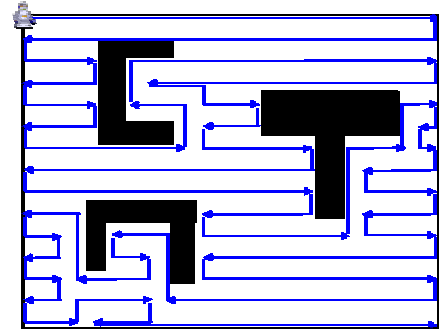
由於感測網路的效能高度依存於感測網路中 sensor nodes 的 coverage，為了使佈建的 sensors 能達到 full coverage 的目的並節省 sensors 硬體上的成本，我們希望盡量減少 sensor nodes 其 sensing range 的 overlap 區域[6][7]，圖三(a)所示為 sensor nodes 能擁有最大 coverage 其彼此之間最好的距離，假設半徑  $r_s$  為 sensor nodes 的 sensing range， $r_c$  為 sensor nodes 的 communication range，當 sensor nodes 排列如圖三(a)所示時，sensor nodes 將具有最大的 coverage，只要  $r_c \geq \sqrt{3}r_s$ ，圖中 node A 與 node B 距離為  $\sqrt{3}r_s$  是可以互相通訊的。若感測網路中的 sensor nodes 排列如圖三(a)所示，將具有 coverage 最大且所需佈置的 sensor nodes 點數最少的優點，並使每個 sensor nodes 與其周圍的 nodes 皆能 connectivity。我們將利用此距離作為本計畫中 deployment 的依據並設計一個機器人 deployment 的演算法。而機器人 deploy sensor 的方法有許多種，在本計畫中，我們將採用由蛇行狀(snake-like)的 deployment 方式，機器人從感測區域的邊界出發並依序放置 sensor nodes，在機器人佈點的同時，機器人也依序分配座標給每個 sensor node，此座標系統為二維的座標系統，其  $x$ 、 $y$  軸如圖三(b)中的紅色箭頭所示，並設定起始點所佈的 sensor 座標為(0, 0)，以蛇行狀的方式佈點且分配座標給每個 sensor nodes，此 deployment 的方法能有效的運用圖三(a)中 sensor nodes 彼此之間的最佳距離來執行 deployment。此外，在有障礙物的監測環境中，我們所設計的蛇行狀佈點也能隨著障礙物的不同與複雜度，克服障礙物有效地佈點，如圖三(c)所示，在有多個障礙物的區域環境中，機器人也能以我們所設計的蛇行狀佈點法，繞障礙物佈點快速佈點，使網路中的每個區域皆能被 sensor nodes 所覆蓋。



- (a) Sensor nodes 彼此相距  $\sqrt{3}$  倍的 sensing range，將能以花費最少的 sensor nodes 數量來達到最大的 coverage。



- (b) 機器人以蛇行狀的方式佈點並同時分配座標給每個 sensor nodes。



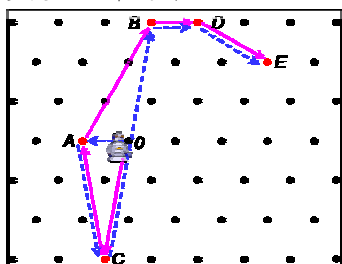
- (c) 機器人以蛇行狀佈點克服障礙物的環境。

圖三. 機器人佈點的規則與蛇行狀佈點法。

當 WSN 經過長時間的偵測之後，某些 sensor nodes 發生故障或是即將耗盡電量需要修復時，偵測到故障區域的 sensor nodes 或是即將耗盡電量的 sensor nodes，將會利用其追蹤機器人的路徑通知機器人至此區域進行修復，此過程稱之為 Repair 的演算法。若機器人收到許多 sensor nodes 等待修復的資訊時，為達到迅速修復及機器人省電的目的，機器人將以 Dynamic Programming 的技巧來建立一通過各毀損區的最短路徑，如圖四所示，nodes A、B、C、D、E 為待修復的 sensor nodes，藍色虛

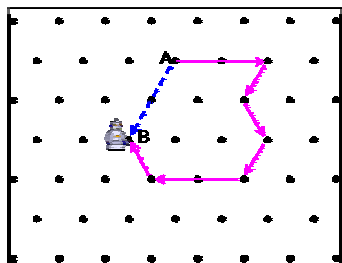


線是以每次皆選擇離機器人最近之 sensor 的 greedy 方式所決定出來的路線，為  $O \rightarrow A \rightarrow C \rightarrow B \rightarrow D \rightarrow E$ ，而紅色路徑為經過我們所設計的修復路徑所計算出行經所有待修復 nodes 的最短路徑，為  $O \rightarrow C \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow D \rightarrow E$ 。扣除藍色虛線與紅色實線相同的路徑長度，藍色虛線多出來的路徑長度為  $\overline{OA}$  與  $\overline{OB}$ ，紅色實線多出來的路徑長度為  $\overline{AB}$ ，此三線段形成一個  $\triangle OAB$ ，由三角形兩邊長必大於第三邊的特性， $\overline{OA} + \overline{OB} > \overline{AB}$ ，明顯可看出紅色路徑比藍色路徑短，使機器人能以最省電的方式，走最短路徑來快速修復這些 sensor nodes，而毀損區亦可在較短的時間內修復並正常運作。



圖四. 機器人在最短的時間內修復所有待修復的 sensor nodes。

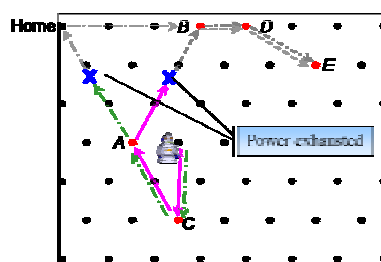
而機器人在 WSN 中行走時會留下軌跡讓 sensors 追蹤其位置，但執行多次的 Repair 路徑後，sensor nodes 追蹤機器人的路徑可能會過於崎嶇而有繞遠路的情形，如圖五所示，假設機器人目前行走至 node B 的位置，node A 其所追蹤機器人的路徑為紅色實線，此路徑顯然有繞遠路的情形，node A 與 node B 存在有另一條最佳的路徑，藍色虛線為此兩 nodes 間的最短路徑。為了改善路徑過於崎嶇且有繞遠路的情形，機器人需常發送 packet 來通知所有的 sensor nodes 修正路徑，然而，在繞遠路的 path 與 packet overhead 的 tradeoff 考量下，我們將盡量使用較小的 packet overhead 來修正繞遠路的 path，使 sensor nodes 追蹤機器人的 path 能盡量為最短路徑。



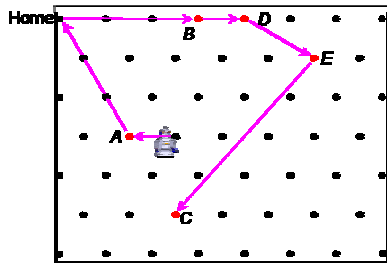
圖五. Sensor nodes 經過長時間追蹤機器人的位置，導致其追蹤的路徑可能過長，機器人應該適時的修正 sensor nodes 追蹤機器人的路徑。

最後，我們將擴充機器人 Repair 的演算法，使其兼具考量機器人因電量耗盡或為補充 sensor node 而回 home 的機制。機器人有許多原因必須回 Home，首先，機器人在執行修復與巡邏 sensor nodes 的過程中，機器人本身也可能會耗盡電量，其次，機器人身上所配帶的 health sensors 可能用完，再者，毀損 sensors 亦需透過機器人回收以免影響環境，因此，我們分別在機器人執行修復 sensor nodes 與巡邏的過程中，將機器人回 Home 以充電、補充 health sensors 及回收毀損 sensors 之需求加入考量，以防止機器人在執行修復與巡邏 sensor nodes 的過程中，因電量耗盡而來不及回 Home 補充電量，或是機器人身上所配帶的 health sensor nodes 已經用盡而來不及回 Home 補充 new sensor nodes。

簡單以圖六(a)來說明機器人考量回 Home 的行走路徑，nodes A、B、C、D、E 為待修復的 sensor nodes，機器人根據我們所設計的 Repair 演算法計算出能最快速修復此五個 nodes 的路徑已由上述得知如圖四中的紅色路徑所示，為  $C \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow D \rightarrow E$ ，然而，機器人所剩餘的電量不足夠走至 node E，機器人在由 node A 走至 node B 的過程中電量已耗盡，因此，為避免機器人的電量耗盡，我們將機器人所剩餘的電量納入考量，並將 Home 也加入修復演算法中，求得一條可最快速修復 nodes A、B、C、D、E 且可回 Home 充電的路徑，為  $C \rightarrow A \rightarrow \text{Home} \rightarrow B \rightarrow D \rightarrow E$ ，然而，雖然此路徑已將機器人回 Home 加入考量，但同樣地，機器人在由 node A 走至 Home 的過程中，機器人的電量耗盡，機器人的電量仍來不及走到 Home 補充電量。因此，我們將設計一演算法，使機器人能在來得及回 Home 補充電量的情況下，以最短路徑且最快的方式來修復待修復的 sensor nodes。如圖六(b)所示，機器人計算出其剩餘電量足夠先修復 node A 後，再回 Home 補充電量，並在補充完電量後，依序修復 node B、D、E、C，如此，機器人可以來得及補充電量，並在最短的時間內修復待修復的 sensor nodes。



(a) 由於機器人的電量有限，在執行修復的過程中，機器人可能耗盡電量。



- (b) 將 Home 納入機器人巡邏與修復演算法的考量，使機器人可以在其電量耗盡前，及時回 Home 補充電量。

圖六：以機器人所剩餘的電量來看 Home 存在的重要性。

綜合上述所提及的相關問題，我們將設計一機器人在 WSN 中佈點、修復的演算法，讓機器人能以最少的點數，在最短時間內佈建完欲監測的區域，並有能力克服障礙物，當有 sensor nodes 電量即將耗盡或是損毀時，能以最省電的方式來修復待修復的區域，此外，更加考量機器人能回 Home 及避開障礙物修復的條件，使 WSNs 的覆蓋範圍得以更有效地維護。

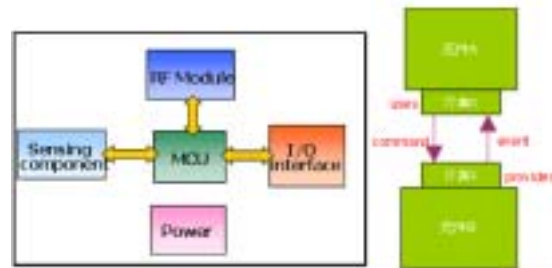
### 3.2 無線導盲預警監控系統實作

#### (一) Sink Node 與 Sensor Node 的實作

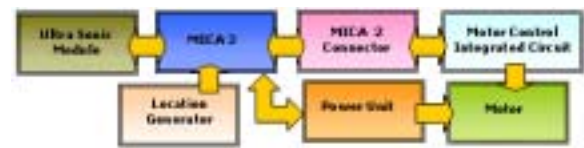
如圖七所示，我們將在網路上設置一台或多台 PC 或 Notebook 連接 Mote MICA2 模組，當作 Sink 端，並使用多個 Mote MICA2 模組形成感測網路，此外，我們亦擬用 Mote MICA2 模組組裝而成的自走車形成 mobile sensor 以及 mobile robot，並在 Sensor Board 上具有感測光亮度、聲音、溫度、相對溼度、磁性強度及平面加速度等六種感測功能。當 Sensor Board 感應到環境資訊，便透過 Analog to digital converter(ADC) 將資料傳送給 MICA 2 處理計算。而構成感測點的基本元件包含 Micro Control Unit(MCU)、RF Module、Sensing Component、Power unit 以及 I/O Interface 等元件，如圖八所示。其中 Micro Control Unit(MCU)為資料微處理機，將接收到的資料與感應到的資料依照應用層的需求計算處理；RF Module 為無線通訊模組，可透過 RF Module 來進行點對點的無線通訊；Sensing Component 為感測器，透過各式各樣的感測器，我們可以得知該環境各種不同的資訊；I/O Interface 為感應點的輸出輸入裝置；Power unit 為提供感應點上各元件的驅動電量。



圖七. 以 Notebook 或 PC 所建構的 Sink node。



圖八. 基本元件、介面架構圖。



圖九. 自走車組成架構組件。

#### (二) Mobile Sensor 的實作

第一年計畫當中，除了使用 MICA 2 mote 形成感應點之外，我們利用具備感測功能的自走車作為 mobile sensor，以局部移動的方式代替感測點進行感測資料的工作，或者以巡邏的方式來搜尋毀損的 sensor node，自走車經由集中運算，並考量感測網路的連通性與感應範圍，以消耗最少電量的方式，達到 full coverage 和自主性修補的目的。其中自走車的元件有 Ultra Sonic Module、MICA 2、MICA 2 Connector、Motor Control Integrated Circuit、Motor、Power Unit、Location Generator 等元件，如圖九所示，我們利用 Ultra Sonic Module 發射超音波來偵測障礙物的存在與障礙物的距離，並將該資訊送予 MICA 2 分析處理；MICA 2 為自走車的資料處理中心，將各模組傳送來的資料加以處理，並做出適當的決策，或者將處理好的資料利用 RF module，傳送給週遭的 static sensor 得知；MICA 2 Connector 為 MICA 2 與 Motor Control Integrated Circuit 的中繼介面，為

訊號傳遞，MICA 2 可透過訊號傳遞下達指令給 Motor Control Integrated Circuit，控制自走車的行進方向；Motor Control Integrated Circuit 為馬達控制晶片，透過 MICA 2 Connector，MICA 2 可下達指令給 Motor Control Integrated Circuit，以控制馬達的運作；Motor 為步進馬達，依照 Motor Control Integrated Circuit 的指示方向前進；Power Unit 為電源供應器，用以供應自走車上各元件的電源或補充 static sensor 的電量；Location Generator 為定址器，我們可用以得知自走車的位置資訊，並將該資訊傳遞予 MICA 2 處理計算。

### (三)通訊協定程式的撰寫

Mote Mica 2 模組所使用的軟體是實作在由加州柏克萊大學研發出的 TinyOS 這一套作業系統上，這個作業系統之特色在於為相當小型之 component-based 架構，且不需行程管理，而是另外有一排程器(TinyOS Scheduler)來管理執行緒的工作(task&event)，亦不需虛擬記憶體，並且採用靜態配置記憶體的方式，同時能有效使用電量，即只需少量之硬體需求，其目的即為支援大型區域和具自我調整能力之感測網路。目前 TinyOS 已發展至 1.1.1 版，而且它是開放原始碼之設計，可由它的官方網站(<http://webs.cs.berkeley.edu/tos/>)上取得，它所使用之程式語言為 nesC，nesC 為一種和 C 語言相似之程式語言且為 component-based 與 event-driven 的架構，可由 SourceForge 這個開放原始碼之發展網站來取得。TinyOS 之工作平台有 Linux Red Hat 9.0、Windows 2000 和 Windows XP 這些平台。

```
// Blink.nc
Configuration Blink {
}
implementation {
    components Main, BlinkM, SingleTimer, LedsC;

    Main.StdControl -> BlinkM.StdControl;
    Main.StdControl -> SingleTimer.StdControl;
    BlinkM.Timer -> SingleTimer.Timer;
    BlinkM.Leds -> LedsC;
}
```

圖十. Configuration 程式實例片段。

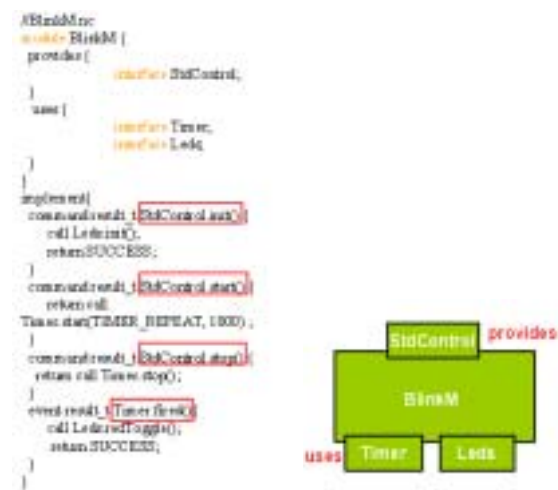
在本計劃中在自走車及感測點上程式的撰寫，我們將以 nesC 為開發工具。nesC 為一種 component-based 與 event-driven 的架構之程式語言，其執行於加州柏克萊大學研發出的 TinyOS 這一套作業系統上。一個 nesC 之應用程式是由一個或一個以上之元件來相互連結而成為可執行之程式，元件本身提供(provides)且使用 Interface，元件藉由宣告 Interface 和其他元件互相溝通，並可對 Interface 宣告成兩種型態，一為 provides，即為外界使用該元件的唯一橋樑，另一為 uses，則為元件對外溝通的唯一通道；Interface 本身的宣告即定義該 Interface 存取元件的 Command 函數與

Event 函數，當宣告 Command 函數與 Event 函數時需以"async"宣告，才能成為 hardware handler 的一部分，而這兩者各有不同作用，而 uses Interface 的元件需要實作 Command 函數，provides interface 的元件則要實作 Event 函數。在實作時，我們所設計的元件本身亦分為兩種類型，一為 Modules，主要提供應用程式之程式碼，也就是實作 Interface 所定義函數的程式碼，且 Module 為元件最小的單位；另一元件為 Configurations，主要用來組合及定義各個元件之間的相互關聯，也就是在實作元件之間的 Interface，透過這些定義的 Interface，元件跟元件之間則可彼此互相溝通。為深入了解 nesC 的運作方式，在 TinyOS 中以 nesC 寫 Configuration 的方法，implementation 所寫內容為 Configuration 實際要執行的 Component，如圖十所示，Configuration 程式的例子，一個 TinyOS 應用程式一定有"Main" Component 在它的 Configuration 中，且為 TinyOS 中第一個執行的 Component，StdControl 在 TinyOS 為一常使用的 interface，其作用為起始(initial)、start 以及 stop TinyOS 中的 components，而 nesC 程式中所使用到的箭頭符號(→)是定義 interfaces 間的關係，在箭號左邊的 Component 使用(uses)此 interface，位於箭號右邊的 component 則提供(provides)此 interface，假若箭號右邊未將所 provides 的 interface 列出，則 nesC compiler default 值預設為與箭號左邊所使用的 interface 相同。Configuration 完成後，開始著手撰寫 Module 部分的程式，亦即在程式中說明如何實際操作先前在 Configuration 所宣告的元件(component)的程式碼，nesC 使用 Module 的方法，為分別宣告此 Module 所提供與使用的 interface，以便程式順利執行，在撰寫 Module 中 implementation 部分時，需先查看 Module 宣告哪些 interface，而這些 interface 定義哪些函數(function)，才能得知將要實作哪些函數，在圖十一的例子中，實作 init()、start()、stop() 三個 command 是由於此 Module 提供 "std Control" interface，而實作 fired() event 是由於這個 Module 使用 "Timer" interface，所以必須實作 fired () event。

有了上述 nesC 的基本概念之後，利用這些 Interface，我們可以快速編寫出我們所需之應用程式。在此說明幾個重要之 Interface—Clock 為一種 Hardware Interface，其主要之 Command 為 setRate，即為設定 Clock 每秒有幾次之反應，一旦到達設定之間隔時間，便觸發這項事件，如此我們在設計感測點數據收集之應用程式時，將會實作此 Clock 之 Interface，以達到定時取得環境變化數據之目的。另外，在我們所使用 Mote 模組時，還提供了三個分別為紅、黃、綠之 LED 燈，這三個 LED 燈也有相對的 Interface 可供實作使用，即為 Leds，我們可以實作此 Interface，分別控制三個 LED 燈。而 Mote 模組中和無線通訊有關之功能，在此也有 Interface 可以使用，即為接收資料



之 ReceiveMsg，和傳送資料之 SendMsg，在此較特別的是 ReceiveMsg 只有 Events 之函數，沒有 Command 之函數在其中。還有一個和感應器有關之 Interface 為 ADC，其意為 Analog to Digital Converter，一般感應器之感應動作是形成類比信號，如此之數據不易使用來參考比對，因此要轉成數位信號才易於傳送及處理。



圖十一. Module 程式實例片段。

在此簡單的介紹一些本計畫中會我們所設計使用的元件：

## 通訊方面

1. IntToRfm：是一個從 IntOutput Interface 中接收 Output 值，再經由無線傳輸將其值以廣播的方式傳輸給其他 Mote 的元件。在 IntToRfm Module 中，NesC 將傳送訊息的資料型態宣告為 IntMsg，包含兩個欄位，一欄位用來放置資料值，另一欄位則放置此訊息的傳送的來源端位址，在傳送資料的同時會以接收端位址與資料大小以及資料值為參數呼叫 Send.send() 函式，將資料傳給接收端的 mote。IntToRfm Module 使用一個 pending flag 來檢視暫存區的狀態，假若前一個訊息資料還處在傳送階段，我們不能更改暫存區內的值，此時將不會送出新的訊息，並回傳 FAIL 值；假若目前傳送暫存區是空的，則可以將訊息載入暫存區中並傳遞此訊息。在 TinyOS 中，無線通訊傳輸採用 Active Message 的模式，即為在網路中每個封包都有一個 Handler ID 交給接收端的 Mote 處理，此 Handler ID 位於封包內的標頭欄位中，我們可將此 Handler ID 視為一個數字或是 Port Number，一旦訊息被接收端接收後，根據不同的 Handler ID 將會有相異的 Event 被觸發，而不同的 Motes 收到相同的 Handler ID 亦有可能觸發不同的 Event。

2. RfmToInt：我們利用 ReceiveMsg Interface 中宣告的 receive() 的 Command 函數，透過一個指標觸發 Event 來接收資料。在 TinyOS 中記憶體管

理對於接收進來的訊息將會以動態的方式管理，一個訊息抵達接收端 Mote 後會被擺放至暫存區中，此時 Active Message Layer 會將收到訊息的 Handler Type 解開並作處理，同時 Application 元件將透過 ReceiveMsg.receive() 事件來處理暫存區中的訊息，當 Application 元件處理完成後必須回傳一個指標給暫存區。假如我們的元件需要儲存訊息內容，則需要將此訊息複製至另一個新的暫存區，或是經由 network stack 回傳一新的訊息暫存區。在 TinyOS 中訊息封包中在標頭欄位中包含了 Group ID，Group ID 允許 Motes 組成多個不同的 Groups 分享相同的通訊頻道，假若在一個空間裡，例如實驗室有 Motes 組成多個 Groups，則需設定 Group ID 值以避免接收到其他 Group 的訊息。除此之外，標頭欄位中還囊括 16-bit 接收端位址以供多個 Group 使用。

3. Broadcast Module：在處理每個收到封包裡的 Command 函數時，將會檢查此訊息封包是否為一個新的 broadcast 訊息，亦即檢視之前是否收過此訊息封包，透過封包內的 sequence number 視其有無在 127 內，若在 127 內則表示之前未收過這個訊息封包，則將會處理此訊息封包 forward 給其他 Motes，反之則不作任何動作。

## 感應方面

在感應方面，我們設計了 Environment parameter Module，當感測器偵測到 Environment parameter (如：光度(Photo)、溫度(temperature)等等)，則數值改變後會起始 Environment\_parameter\_GET\_DATA command 取得 sensor reading 值，再經由 Environment\_parameter component 所提供的 ADC interface 將 sensor 讀數從類比訊號轉為數位訊號，而我們若想要得知 sensor reading 值為何則需觸發 Environment\_parameter\_DATA\_READY command，此一 command 將會提供我們 sensor reading 值。

在第一年的實作環境部份，我們預計以十五個 Sensor Node、三部自走車、一個 Sink Node 以及多個大小、形狀不同的障礙物，測試在五十公尺平方的區域內，無障礙物及有障礙物的佈點狀況，佈建一具有維護修復機制的無線感測網路。

## 四、結論與討論

淡江大學的盲人系統已行之多年，不論是盲人用電腦、導盲磚的建置、導盲犬的使用等方面均有良好的經驗。然而隨著科技的進步，體積小、低成本、多功能、省電、且具無線與感測能力的感測點(Sensor Node)得以實現，這亦使 Wireless Sensor Networks 得以廣泛的使用在許多不同的領域，因此為提供盲人更安全、更即時、以及更多樣化的服務，本計畫擬運用先前已有的經驗，融合 Wireless 及 Sensor 的科技，為盲人建置一兼具

導引(Guide)、預警(Alarm)、修復(Recovery)、偵測(Detection)等多功能之智慧型無線導盲監控網路系統(GUARD system)。在本篇報告中，我們提出了建構盲人無線感測網路的方法，不論是透過人工或者是機器人的方式來建構盲人無線感測網路，我們皆可透過設計的成果，使用最少的 Sensor node 以達到避開障礙物且達成 Full coverage 的目的，並延長智慧型無線導盲監控網路系統的目標，此外我們也對以人工的方式構建盲人感測網路做進一步的研究，我們分析了感測器服務與傳輸範圍的相關性，並且分析了感測器如何透過自身移動來達成完整覆蓋服務範圍，使得感測器可以更貼近淡江大學校園的環境與盲生所需的應用，在實做部分，由於現今所開發的感測器必不符合我們想要建構的盲人無線感測網路，因此我們除了在現有的 sensor node 上撰寫感測及無線通訊模組，亦進行無線廣播及點對點無線傳輸的實作。我們也針對淡江大學校園來進行導盲系統的實作，除了對淡江大學校園各建築物及路線進行實際量測外，亦研發及撰寫路徑行走之程式，使盲生在校園內的活動可以透過 GUI 方式顯示並為其導引，因此我們也對網路系統所需要使用的感測器做進一步的設計與實作。

## 五、參考文獻

- [1] A. Howard, M.-J. Marari'c, and G.-S. Sukhatme, "An Incremental Self-Deployment Algorithm for Mobile Sensor Networks," *Kluwer Academic Publisher, Autonomous Robots*, v13, p113-126, 2002.
- [2] L. Li, J.-Y. Halpern, P. Bahl, Y.-M. Wang and R. Wattenhofer, "Analysis of a Cone-Based Distributed Topology Control for Wireless Multi-Hop Networks," *Proceedings of the twentieth annual ACM symposium on Principles of distributed computing*, 2001.
- [3] Mondinelli, F. and Kovacs Vajna, Z.M., "Self Localizing Sensor Network Architectures," *Proceeding of the 19th IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference*, 2002.
- [4] E.-L. Lloyd, R.-Liu, M.-V. Marathe, R. Ramanathan and S.-S. Ravi, "Algorithmic Aspects of Topology Control Problems for Ad Hoc Networks," *Proceedings of the 3rd ACM international symposium on Mobile ad hoc networking & computing*, June 2002.
- [5] H. Gupta, S.-R. Das and Q. Gu, "Connected Sensor Cover: Self-Organization of Sensor Networks for Efficient Query Execution," *Proceedings of the 4th ACM international symposium on Mobile ad hoc networking & computing*, June 2003.
- [6] G. Gupta and M. Younis, "Load-Balanced Clustering of Wireless Sensor Networks," *IEEE International Conference on Communications*, 2003.
- [7] W.-R. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks," *Proceedings of the 33rd Annual Hawaii International Conference on System Sciences*, Janunay 2000,
- [8] J. Pan, Y.-T. Hou, L. Cai, Y. Shi and S.-X. Shen, "Topology Control for Wireless Sensor Networks," *Proceedings of the 9th annual international conference on Mobile computing and networking*, September 2003.
- [9] M. A. Batalin and G. S. Sukhatme, "Efficient Exploration Without Localization," in *Proc. of IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA'03)*, Taipei, Taiwan, 2003, pp. 2714-2719, 2003
- [10] K. Nakano and S. Olariu, "Uniform Leader Election Protocols for Radio Networks," *IEEE International Conference on Parallel Processing*, pp. 240-248, 2001.
- [11] A. Micic and I. Stojmenovic, "A Hybrid Randomized Initialization Protocol for TDMA in Single-hop Wireless Networks," *IEEE International Proceedings of Parallel and Distributed Processing Symposium (IPDPS'02)*, pp.147-154, 2002.
- [12] Z. Cai, M. Lu, and Xi. Wang, "Distributed Initialization Algorithms for Single-Hop Ad Hoc Networks with Minislotted Carrier Sensing," *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, vol. 14, no. 5, pp. 516-528, 2003.
- [13] T. Hayashi, K. Nakano, and S. Olariu, "Randomized Initialization Protocols for Ad Hoc Networks," *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, vol. 11, no. 7, pp. 749-759, 2000.
- [14] H. C. Chao, S. W. Chang, and J. L. Chen, "Throughput Improvements Using The Random Leader Technique for The Reliable Multicast Wireless LANs," *ICN*, 2001
- [15] J. Kuri and S. K. Kasera, "Reliable Multicast in Multi-access Wireless LANs," *IEEE INFOCOM*, pp. 760-767, 1999.
- [16] J. P. Sheu, C. H. Liu, S. L. Wu, and Y. C. Tseng, "A Priority MAC Protocol to Support Real-time Multimedia Traffic in Ad Hoc Networks," *European Wireless*, pp.149-155, 2002.
- [17] F. J. Gonz ´ alez-Castano and J. Garc ´ ya-Reinoso, "Survivable Bluetooth Location Networks," *IEEE International Conference on Communications ( ICC )*, pp. 1014-1018, 2003.
- [18] G. Kulkarni, C. Schurgers, and M. Srivastava, "Dynamic Link Labels for Energy Efficient MAC Headers in Wireless Sensor Networks," *IEEE Proceeding of Sensors*, pp. 1520-1525, 2002.
- [19] C. Schurgers, G. Kulkarni, and M.-B. Srivastava, "Distributed On-demand Address Assignment in Wireless Sensor Networks," *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, vol. 13, no. 10, pp.1056-1065, 2002
- [20] L. Doherty, "Algorithms for Positioning and Data Recovery in Wireless Sensor Networks," Master's Report, University of California, Berkeley, June 2000.
- [21] N. Bulusu, J. Heidemann, and D. Estrin, "GPS-less Low Cost Outdoor Localization for Very Small Devices," *IEEE Personal Communications Magazine*, vol. 7, no. 5, pp. 28-34, 2000.
- [22] N. Priyantha, A. Chakraborty, and H. Balakrishnan, "The Cricket Location Support System," *ACM International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom'00)*, pp. 32-43, 2000.
- [23] S. Capkun, M. Hamdi, and J.-P. Hubaux, "GPS-free Positioning in Mobile Ad-hoc Networks," *IEEE Proceedings of Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS)*, pp. 3481-3490, 2001.
- [24] A. Nasipuri and K. Li, "A Directionality Based Location Discovery Scheme for Wireless Sensor Networks," *ACM international workshop on Wireless sensor networks and applications (WSNA'02)*, pp. 105-111, 2002.
- [25] R. Iyengar and B. Sikdar, "Scalable and Distributed GPS free Positioning for Sensor Networks," *IEEE International Conference on Communications ( ICC )*, pp. 338-342, 2003.

- [26] T. He, C. Huang, B.-M. Blum, J.-A. Stankovic, and T. Abdelzaher, "Range-Free Localization Schemes for Large Scale Sensor Networks," *ACM International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom '03)*, pp. 81-95, 2003.
- [27] Yi Zou and Krishnendu Chakrabarty, "Sensor deployment and Target Localization in Distributed Sensor Networks," in *ACM Trans. on Embedded Computing Systems*, vol. 3, pp.61-91, 2004
- [28] Y.-C. Wang, C.-C. Hu, and Y.-C. Tseng, "Efficient Deployment Algorithms for Ensuring Coverage and Connectivity of Wireless Sensor Networks," *Wireless Internet Conf. (WICON)*, 2005.